



TIETO- JA SÄHKÖTEKNIIKAN TIEDEKUNTA
ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

KANDIDAATINTYÖ

Kaivinkoneen kytkeminen 5G-verkkoon

Tekijä

Harri Joona

Ohjaaja

Olli Liinamaa

Toukokuu 2021

Joona H. (2021) Kaivinkoneen kytkeminen 5G-verkkoon. Oulun yliopisto, tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta, Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 19 s.

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä perehdytään, miten toteutettiin toimiva 5G-yhteys Oulun yliopiston automatisoidulle kaivinkoneelle, hyödyntäen Oulun yliopiston 5GTN testiverkkoa. Työn aloitus hetkellä kaivinkone hyödynsi tiedonsiirtoon kaupallista 4G verkkoa ja suunnitelmissa oli suorittaa kenttätestaus, jossa olisi testattu ja verrattu työssä luodun integraation etuja aiemmin kaivinkoneessa käytettyyn tiedonsiirtotekniikkaan. Työn kenttätestauksia suunniteltiin alun perin toteutettavaksi 6.4. – 8.4.2021. yhteistyössä SATEL nimisen yrityksen kanssa. Testit jouduttiin kuitenkin perumaan ja toistaiseksi on vielä avoinna koska ne tullaan suorittamaan. Voidaan kuitenkin odottaa, että tärkeään rooliin kaivinkoneen käytössä nousee tiedonsiirron toimintavarmuus ja viive.

Avainsanat: 5GTN, älykaivinkone, IoT.

Joona H. (2021) Connecting the excavator to a 5G network. University of Oulu, Degree Programme in Electronics and Communications Engineering. Bachelor's Thesis, 19 p.

ABSTRACT

This thesis introduces how a functional 5G connection for University of Oulu's automated excavator was implemented utilizing 5GTN test network. At the beginning of this thesis work, the excavator was set to utilize a commercial 4G network for data transfer. There was a plan to do field testing to test and compare the benefits of the integration created in the work to the data transfer technology previously used in the excavator. The field tests of the work were originally planned to be carried out on 6.4. - 8.4.2021. in co-operation with a company called SATEL. However, the tests had to be cancelled and are still open for the time being. Although, it can be expected that the reliability and delay of data transmission will play an important role in the use of the excavator.

Key words: 5GTN, Smart Excavator, IoT.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

1	JOHDANTO	7
2	TEORIA.....	8
	2.1 5G	8
	2.2 5G:n mahdollisuudet verrattuna 4G:hen	8
	2.3 5GTN.....	9
	2.4 Raspberry Pi	10
	2.5 Tosibox 500i.....	10
	2.6 VPN-tunnelointi	11
	2.7 Oulun yliopiston autonominen kaivinkone	12
3	KYTKENNÄN TOTEUTTAMINEN	13
	3.1 Kytkentä	13
	3.2 Raspberry Pi:n asetukset	14
	3.3 Tosibox 500i:n asetukset	15
4	POHDINTA	16
5	YHTEENVETO	18
6	LÄHDELUETTELO	19

ALKULAUSE

Haluaisin kiittää Oulun yliopiston CWC:n tutkimusyksikköä mielenkiintoisesta aiheesta ja avusta työn suorituksessa sekä ohjaajani Olli Liinamaan asiantuntevaa ohjausta kandidaatintyön suoritusprosessin aikana.

Oulussa 16.5.2021.

Harri Joona

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

1G	1st Generation
2G	2nd Generation
3D	Three-dimensional space
3G	3rd Generation
4G	4th Generation
5G	5th Generation
5GTN	5th Generation Test Network
5GTNF	5th Generation Test Network Finland
6G	6th Generation
6G Flagship	6th Generation Flagship
CWC	Center for Wireless Communications
GSM	Global System for Mobile communications
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
microSD	micro Secure Digital
MIMO	Multiple-Input-Multiple-Output
UHD	Ultra High-Definition
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
CAN-väylä	automaatioväylä
Gbps	Gigabittiä sekunnissa
GHz	Gigahertsi
Mbps	Megabittiä sekunnissa
ms	millisekunti

1 JOHDANTO

Nykyaikana lähes jokaisen kuluttajan taskusta löytyy langatonta tietoliikennettä hyödyntävä mobiililaitte ja niiden käyttäjäystävällisyydessä langattomuus on ollut avainasemassa jo pitkään. Jokapäiväiseen elämään kuuluu monenlaisia langatonta tietoliikennettä hyödyntäviä sovelluksia kuten internet, sosiaalinen media ja suoratoistopalvelut. Nämä ovat muodostuneet jo tavanomaisiksi kuluttajapalveluiksi. Mutta langattomuudella on arvoa myös muissa kuin kuluttajapalveluissa. Tulevaisuuden mahdollisuuksia ovat mm. älykkäät tehtaات ja sairaalat sekä itseohjautuvat ajoneuvot osana tietoliikennejärjestelmää. Autonomisia ominaisuuksia hyödyntävien ajoneuvojen ollessa jo kuluttajien käytössä, on niille seuraava askel toimia osana tietoliikennejärjestelmää. Näiden innovaatioiden toteutukseen 5G voisi olla avain.

Automatisoituja ajoneuvoja ja työkoneita kehitetään kiihtyvään tahtiin ympäri maailmaa. 3D- ja tietomallinnus ovat jo arkimaailmaa rakennusteollisuudessa. [1] Tästä on avautunut mahdollisuus työkonien kehittämiseen toimimaan etäohjauksen varassa esimerkiksi huomattavan yksinkertaisiin työtehtäviin tai kuljettajalle vaarallisiin kohteisiin. Näiden mahdollisuuksien toteutuessa voisi kustannustehokkuus ja työturvallisuus parantua huomattavasti erityisesti isoissa tai erikoislaatuissa rakennushankkeissa. Etäohjauksen toteutuksessa tarvittava tietoliikenne, asettaa sen ominaisuuksille erityisiä vaatimuksia. Erityisesti pieni viive, korkealle viety toimintavarmuus ja tietoturvallisuus ovat tärkeässä roolissa. Nykyisen 5G-tekniikan on osoitettu vastaavan näihin vaatimuksiin jo nykyisellä suorituskyvyllään. [2]

Oulun yliopisto tekee tutkimusta eri työkonien etäohjauksesta ja autonomisesta toiminnasta. Rakenteiden ja rakentamisteknologian tutkimusryhmän tutkimusprojektissa kehitetään autonomista, mutta etäohjattavaa kaivinkonetta. Ennen tämän työn aloitusta kaivinkone kykeni toimimaan autonomisesti ja sitä pystyttiin ohjaamaan etänä tietoturvalisesti tietokoneelta. Tämän työn tarkoituksena oli kytkeä 5G-yhteys kaivinkoneeseen. Ennen työn aloitusta kaivinkoneessa etäohjauksessa hyödynnettiin Tosibox 500i:tä jo valmiiksi. Kaivinkoneen etäohjauksessa käytettävät laitteet on kytketty Tosibox 500i:i2n luomaan paikallisverkkoon, joiden data liikkuu Tosibox:in luoman VPN-tunnelin läpi etäohjaustietokoneelle. Aikaisemmin Tosibox käytti paikallisverkon luontiin sen sisäänrakennetun 4G-modeemin tietoliikenneyhteyttä, joka oli yhdistetty kaupalliseen 4G-verkkoon. Työn tavoitteena oli korvata vanha 4G-yhteys 5G-yhteydellä kytkemällä Tosibox 500i Oulun yliopiston 5GTN-testiverkkoon, joka sijaitsee Linnanmaan kampuksella.

2 TEORIA

Tässä teoriassa kerrotaan lyhyesti 5G:stä ja sen mahdollisuuksista verrattuna 4G:hen. Lisäksi esitellään työssä käytettyjen 5GTN-testiverkon, Raspberry Pi:n, Tosibox 500i:n ja sen luoman VPN-tunnelin toiminta sekä Oulun yliopiston autonomisesti toimiva kaivinkone. Työssä käytetty TCL 5G-modeemi, on prototyypimalli, joten siitä ei ollut saatavilla mitään tietoa. TCL 5G-modeemi yhdistettiin Oulun yliopiston 5G-testiverkkoon ja kytkettiin Raspberry Pi:n kautta Tosibox:iin. 5G-modeemia ei voitu kytkeä suoraan Tosibox:iin, koska siinä ei ole tarvittavaa USB-porttia. Tosibox luo paikallisverkon kaivinkoneen laitteille, joiden dataa liikkuu tietoturvalisäisesti 5GTN-testiverkossa Tosiboxin luoman VPN-tunnelin läpi laitteelle, johon Tosibox USB-avain on kytketty etäohjausta varten.

2.1 5G

5G on matkapuhelinverkkojen viides sukupolvi. Sitä ovat edeltäneet 1G, 2G, 3G ja viimeisimpänä 4G. 4G:n kehityskaari on tullut siihen pisteeseen, että sen ominaisuudet rajoittavat sen kehitystä, joten 5G:n kehitys on ollut ajankohtaista jo jonkin aikaa. 5G tulee mahdollistamaan ennennäkemättömän suuret tiedonsiirtonopeudet pienemmällä viiveellä, hinnalla ja kulutetulla energialla verrattuna aikaisempiin matkapuhelinverkkojen sukupolviin. Yhteiskunnan kehittyessä teknologian mukana, on 5G merkittävä edistysaskel tiedonsiirtoa käyttäville automatisoiduille sovellutuksille mm. teollisuudessa, liikenteessä ja terveydenhuollossa, mitkä ovat nykyisen 4G tekniikan ulottumattomissa. 5G perustuu tekniikaltaan massiivisten MIMO tukiasemien suureen tiheyteen hyödyntäen tiedonsiirrossa pääasiassa millimetritaaajuuksia, mutta mikroaaltotaajuuksia käytetään samaan tapaan runkoverkon yhteyksissä kuin 3G- ja 4G-verkoissa. Korkeisiin taajuuksiin liittyy useita haasteita mm. voimakas tehotiheyden lasku, ilmakehän ja sateen aiheuttama absorptio, matala diffraktio esteiden ympärillä, huono esteiden läpäisevyys ja voimakas vaihe kohina. Kuitenkin tekniikan kehittyessä näihin ongelmiin löydetään koko ajan parempia ratkaisuja. [3]

2.2 5G:n mahdollisuudet verrattuna 4G:hen

4G mahdollisti nykyaikaisen internetin monipuolisen käytön mukaan lukien 4K-teräväpiirtovideoiden suoratoiston katsomisen, live-lähetysten sujuvan suoratoiston ja online-videopelaamisen. 5G parantaa niiden toiminnan luotettavuutta entisestään. 5G:llä pyritään tuomaan samankaltaista mullistusta tiedonsiirtoon, kuin GSM toi viestintään, mahdollistaessaan henkilökohtaisen viestittelyn. 5G voi mahdollistaa 3D videot UHD näytöiltä, itseohjautuvat kulkuneuvot ja työkoneet osana tietoliikennejärjestelmää, älykkäät sairaalat ja tehtaat ja kaiken kaikkiaan älykkään yhteiskunnan. Yleensä uuden tietoliikennestandardin markkinoinnin yhteydessä otetaan esille tiedonsiirron absoluuttiset huippunopeudet, joita pyritään saavuttamaan. 5G:llä hivutetaan tätä 10 kertaiseksi 4G:n 1 Gbps maksiminopeuteen verrattuna mahdollistaen ainakin 10 Gbps nopeuden optimaalisissa olosuhteissa. Yhteiskuntaa mullistavien innovaatioiden kehittämiseksi tärkeämpään rooliin nousee kuitenkin pieni viive, toimintavarmuus ja tietoturvallisuus. Laitteiden välisessä tiedonsiirrossa eli IoT-verkoissa pieni viive on tärkeä vaatimus tietoliikenteelle ja 5G:n kehityksellä tämä pyritään laskemaan 4G:n 15 ms viiveestä 1 ms viiveeseen. Toimintavarmuuden parantamiseksi olennaista

reunanopeuden kasvatus eli huonoimman datanopeuden, jonka käyttäjä voi saada päätelaitteellaan ollessa verkon peittoalueella. Reunanopeuksia tulisi pystyä kasvattamaan 4G:n 1Mbps nopeudesta 100 Mbps nopeudelle eli 100 kertaiseksi 5G:n avulla. Jotta IoT-ratkaisuja voidaan toteuttaa äärimmäisen hyvää toimintavarmuutta ja tietoturvallisuutta vaativissa kohteissa kuten sairaaloissa ja tehtaissa, on toimintavarmuuden ja tietoturvallisuuden maksimointi tärkeää. Tietoturvallisuutta pyritäänkin parantamaan, varautumalla uusiin uhkiin ja kehittämällä ratkaisuja niiltä suojautumiseksi. IoT-ratkaisuissa virrankulutus tulee minimoida, koska yhdessä verkossa laitteiden lukumäärä on suuri. Ideaalitulanteessa nämä ominaisuudet toteutetaankin pienemmällä hinnalla ja energian kulutuksella. Esimerkiksi 5G:ssä käytettävä millimetriaaltojen spektri on 10–100 kertaa halvempi hertsiä kohden kuin 4G:n spektri alle 3 GHz taajuuksilla. [3]

2.3 5GTN

Oulun Linnanmaalla sijaitseva 5GTN on Oulun yliopiston CWC:n tutkimusyksikön ylläpitämä 5G-testiverkko. Se on avoin testiympäristö, jossa voidaan testata laitteita ja IoT -sovelluksia. Alun perin sen toiminta aloitettiin vuonna 2015, hyödyntäen 4G-tekniikkaa 5G-prototyyppi laitteiden kehityksessä. Virallisesti ensimmäinen 5G-tukiasema siirtyi laboratoriosta yliopiston katolle vuonna 2019. Testiverkko kuuluu kansalliseen 5GTNF 5G-testiverkkoekosysteemiin ja sen rakenne vastaa nykyisiä kaupallisia 5G-verkkoja toimiessaan useilla eri taajuuksilla kuten 3.5 GHz:n taajuudella. Nokia on toimittanut testiverkon laitteet ja Oulun yliopisto ja VTT ovat luoneet testiverkon, mutta tällä hetkellä sen kehittämisessä on mukana kymmeniä eri yrityksiä. [4]



Kuva 1: Työssä käytetty TCL prototyyppi 5G-modeemi, joka yhdistettiin 5GTN testiverkkoon.

2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi on alun perin markkinoille vuonna 2012 julkaistu yhden piirilevyn tietokone, joka on pieneen kokoonsa nähden tehokas, mutta halpa. Laite sisältää prosessorin, grafiikkasirun, ohjelmamuistin ja monia erilaisia portteja laitteille kuten kaksi HDMI-porttia, neljä USB-porttia ja Ethernet-portin, joka tukee giga bitin tiedonsiirtoa. Siinä on myös 5V/3A USB-C virransyöttö ja microSD-kortinlukija. Kun laitteeseen kytketään näppäimistö, hiiri ja näyttö, sitä voidaan käyttää kuin normaalia tietokonetta. Nämä ominaisuudet mahdollistavat laitteelle useita eri käyttötarkoituksia, sillä siihen voidaan kytkeä samanaikaisesti esimerkiksi useita eri antureita ja näyttöjä. Raspberry Pi on laajasti modifioitavissa ja laitteet, jotka siihen kytketään, voidaan asettaa toimimaan vapaavalintaisella tavalla. [5]



Kuva 2: Raspberry Pi 4 Model B.

2.5 Tosibox 500i

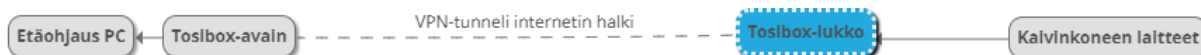
Tosibox 500i on tietoturvallinen ja suorituskykyinen etäyhteyslaite. Siihen kuuluu itse Tosibox Lukko 500i ja USB-avain. Lukossa on kaksi Wi-Fi antennipaikkaa, kaksi LTE antennipaikkaa, WAN-portti ja kolme LAN-porttia sekä kaksi SIM-kortti paikkaa. Tosibox Lukko on kehitetty luomaan suora VPN-tunneli Tosibox Lukon ja USB-avaimen välille. Tosibox Lukko toimii tukiasemana ja muodostaa oman lähiverkon liitettäville laitteille. Laitteet voidaan kytkeä sen Ethernet-portteihin tai sen muodostamaan Wi-Fi paikallisverkkoon. VPN-tunnelin avulla laitteita voidaan ohjailla ja niistä voidaan tietoturvallisesti vastaanottaa dataa etänä tietokoneelle, johon USB-avain on kytketty. [6] Lukkoon voidaan yhdistää samanaikaisesti jopa 50 eri laitetta [7], mikä mahdollistaa monenlaisia sovellutuksia IoT-ratkaisuissa sekä toimintojen hallintaan teollisuudessa, turvallisuusalalla ja toimistoverkoissa.



Kuva 3: Tosibox 500i.

2.6 VPN-tunnelointi

VPN tarkoittaa virtuaalista yksityisverkkoa, jolla luodaan yksityinen tietoliikenneverkko kahden tai useamman laitteen tai paikan välille käyttäen julkista verkkoa. [8] Sen avulla voidaan suojautua tietoturvauhilta, joita liittyy nykypäivän tiedonsiirtoon julkisessa verkossa. VPN-tunneli muodostaa suojatun tunnelin julkisen verkon sisälle. Tietoliikenne sen sisällä on kryptattua eli salattua. Kryptattu data voidaan purkaa vain salausavaimella. Tässä työssä käytetty VPN-tunnelointilaitte Tosibox 500i toimii tällä periaatteella, että vain laite, johon sen USB-avain on kytketty, voi purkaa Tosibox-lukon lähettämää kryptattua dataa. [9] Tunnelin läpi tuleva data liikkuu näin tietoturvallisesti halki verkon.



Kuva 4: Tosibox 500i:n luoma VPN-tunneli

2.7 Oulun yliopiston autonominen kaivinkone

Oulun yliopiston rakenteiden ja rakentamisteknologian tutkimusryhmän toimesta kehittämä itsenäisesti toimiva ”Smart Excavator” -niminen kaivinkone esiteltiin alun perin vuonna 2019. Malliltaan kaivinkone on Bobcat E85 ja sen autonominen toiminta perustuu siihen asennetun 3D-laserkeilan, 3D-maastomallin ja tietomallinnuksen tietoihin. Koneeseen on tallennettu valmiita liikeratoja, joita se suorittaa kauhallaan edellä mainittujen tekijöiden muodostamien tietojen perusteella. Kaivinkoneessa on myös CAN-väylä, johon sen toiminnan mahdollistavat laitteet on kytketty. Koneen liikkuviin osiin asennetut anturit ja 3D-laserkeila välittävät dataa Wi-Fi-verkon tai CAN-väylän kautta. Kaivinkonetta voidaan ohjata etäohjaus-PC:ltä. Sen toteutuksessa on hyödynnetty Tosibox 500i:tä ja sen luomaa paikallisverkkoa. Paikallisverkkoon on yhdistetty 3D-laserkeila, anturit, sensorit ja CAN-väylän WLAN-adapteri. Laitteiden muodostama data liikkuu Tosibox:n luoman paikallisverkon kautta tietoturvalisesta VPN-tunnelin läpi etäohjaus-PC:lle. Tosibox käytti ennen työn aloitusta sisäänrakennetun 4G modeemin yhteyttä, mutta tässä työssä kytkettiin Tosibox:iin 5G yhteys. [10] [11]



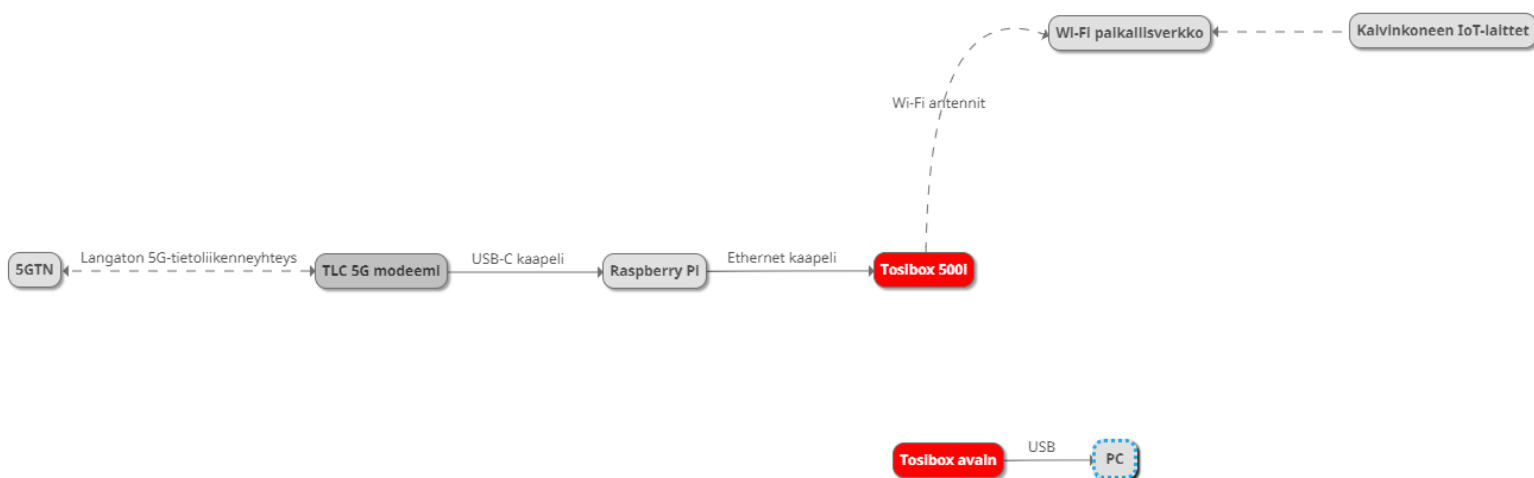
Kuva 5: Oulun yliopiston autonominen kaivinkone

3 KYTKENNÄN TOTEUTTAMINEN

Tässä osiossa perehdytään teoriaosuudessa esiteltyjen laitteiden kytkemiseen toimintaan, minkä toimiva 5G-yhteys kaivinkoneelle vaati. Kytkennän tarkoituksena oli saada Tosibox 500i käyttämään Oulun yliopiston 5G-testiverkkoa, johon TCL:n prototyyppi 5G-modeemi yhdistettiin. Alun perin ongelmana oli, että Tosibox 500i:ssä ei ole USB-porttia, johon 5G-modeemi olisi yhdistetty tiedonsiirtoa varten. Tämä ongelma päätettiin ohittaa, käyttämällä 5G-modeemin ja Tosiboxin yhdistämiseksi Raspberry Pi:tä.

3.1 Kytkentä

Kytken­nän toteutus aloitettiin yhdistämällä TCL:n prototyyppi 5G-modeemi Oulun yliopiston 5G-testiverkkoon. Modeemin yhdistäminen verkkoon ei tarvinnut muita toimenpiteitä kuin SIM-kortin asettamisen paikoilleen modeemiin. Modeemin yhteys jaettiin USB-C johdolla Raspberry Pi:hin, jonka toiminta on laajasti modifioitavissa sen ajamassa Linux-käyttöjärjestelmässä. Raspberry Pi:stä yhteys jaettiin edelleen sen Ethernet-portin kautta Ethernet-johdolla Tosiboxin WAN-porttiin, jonka avulla Tosibox toimii reitittimenä sen LAN-portteihin kytkettäville laitteille. WAN-portin yhteyden avulla Tosibox luo myös Wi-Fi paikallisverkon, johon voi kytkeä laitteita langattomasti. Kaivinkoneen etäohjauksessa käytettävät valotutkat ja anturit kytketään tähän paikallisverkkoon. Etäohjaukseen käytettävään tietokoneeseen kytkettiin Tosibox:in USB-avain, jonka avulla kaivurin antureista tuleva data tulee Tosiboxin VPN-tunnelin läpi etäohjaustietokoneelle.



Kuva 6: Kytkennän toteutusta hahmottava kuva.

3.2 Raspberry Pi:n asetukset

Kytkenässä avainroolissa oli Raspberry Pi, joka jakaa USB-portista vastaanottamansa 5G-modeemin yhteyden Ethernet-porttinsa kautta Tosibox:iin. Tämän mahdollistamiseksi tuli kuitenkin suorittaa joitakin komentoja ja muokata Raspberry Pi:n asetuksia. Aluksi muodostettiin Raspberry Pi:llä toimiva yhteys kaupalliseen internetverkkoon ja ajettiin komentorivillä seuraavat komennot laitteen päivittämiseksi:

```
1 sudo apt update
2 sudo apt upgrade
```

Kuva 7: Raspberry Pi:n päivittäminen.

Tämän jälkeen siirrettiin muistitikun avulla tietokoneelta valmiit TCL 5G-modeemin ajurit Raspberry Pi:n työpöydälle. Modeemi tarvitsee ajurit toimiakseen eri laitteilla. Jotta Raspberry Pi otti ajurit käyttöön, suoritettiin komentorivillä seuraavat komennot niiden asentamiseksi:

```
3 sudo apt install at
4 sudo chmod +x setupTcl.sh
5 sudo ./setupTcl.sh
```

Kuva 8: 5G-modeemin ajurien asennus.

Tässä vaiheessa 5G-modeemin yhteys toimi Raspberry Pi:ssä ja lisättiin seuraavat komennot Raspberry Pi:n /etc/dhcpd.conf -tiedoston asetuksiin, jotka määrittävät sen Ethernet-portin IP-osoitteen, aliverkon peitteen ja käytettävät DNS-palvelimet:

```
1 interface eth0
2 static ip_address=192.168.0.1/24
3 static domain name servers=192.168.0.1 8.8.8.8 fd51:42f8:caae:d92e::1
```

Kuva 9: /etc/dhcpd.conf -tiedostoon kirjoitetut komennot

Seuraavaksi lisättiin /etc/sysctl.conf -tiedostoon seuraava komento, joka sallii IP-osoitteen edelleen lähetyksen:

```
1 net.ipv4.ip forward = 1
```

Kuva 10: /etc/sysctl.conf -tiedostoon kirjoitettu komento

Edellä lisätyt komennot tallentuivat Raspberry Pi:hin ja uudelleenkäynnistämisen jälkeen niitä ei tarvinnut lisätä uudestaan vaan ne pysyivät toiminnassa. Lopuksi lisättiin seuraavat komennot /home/pi/.config/lxsession/LXDE-pi/autostart tiedoston loppuun, jotta Raspberry Pi ajaa ne aina automaattisesti käynnistyessään. Nämä komennot mahdollistavat TCL 5G-modeemin yhteyden jakamisen Raspberry Pi:n Ethernet-porttiin:



```
1 sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -o TCL1 -j MASQUERADE
2 sudo iptables -A FORWARD -i TCL1 -o eth0 -j ACCEPT
3 sudo iptables -A FORWARD -i eth0 -o TCL1 -m state --state RELATED,ESTABLISHED -j ACCEPT
```

Kuva 11: /home/pi/.config/lxsession/LXDE-pi/autostart tiedostoon kirjoitetut komennot

3.3 Tosibox 500i:n asetukset

Jotta 5G-yhteys alkoi toimimaan lopulta Tosibox:ssa, tuli myös sen asetuksia muokata hieman. Tämän suorittamiseksi yhdistettiin Tosibox ja sen etäohjaustietokone kaupalliseen tietoliikenneverkkoon, minkä jälkeen Tosibox:in asetuksia pystyttiin muokkaamaan selaimessa kuin minkä tahansa reitittimen. Tämän jälkeen muokattiin Tosibox:in WAN-portin asetukset vastaaviksi Raspberry Pi:stä tulevan yhteyden kanssa käyttäen staattista IP-osoitetta. Sitten asetettiin asetuksista WLAN päälle ja se käyttämään ensisijaisesti WAN-portin yhteyttä. Minkä jälkeen 5G-modeemin yhteys alkoi toimimaan Tosibox:in LAN-porteissa ja WLAN-paikallisverkossa.

WAN configuration

Common Configuration	
<div>General Setup</div>	
Status	<div>Uptime: On 53m 56s MAC Address: 10:9A:B9:03:6D:38 RX: 16.10 MB (11667 Pkts.) TX: 2.41 MB (12323 Pkts.) IPv4: 192.168.0.2/24</div>
Protocol	Static address ▼
IPv4 address	192.168.0.2 <small>Empty IP address not allowed. If you want to remove IP address, change protocol to 'unmanaged'. Note that removing IP address breaks Key connections and makes sense only in Sub Lock mode.</small>
IPv4 netmask	255.255.255.0 ▼
IPv4 gateway	192.168.0.1
IPv4 broadcast	192.168.0.255 <small>Leave empty unless you know you need to use it.</small>
DNS servers	192.168.0.1  8.8.8.8  <small>Enter the IP address(es) of the DNS server(s) here. Please note that many Lock features (e.g. software updates) require a working DNS.</small>

Kuva 12: Tosibox:in WAN-portin asetukset

4 POHDINTA

Tässä työssä oli tarkoituksena korvata Oulun yliopiston automatisoidun kaivinkoneen etäohjauksessa käytössä ollut kaupallinen 4G-yhteys 5GTN testiverkon 5G yhteydellä. Yhteyden toteutuksessa hankalinta oli saada Raspberry Pi toimimaan halutulla tavalla eli jakamaan vastaanottamansa TCL modeemin 5G yhteyden LAN-porttiin. Opin kuitenkin paljon Raspberry Pi:n ja sen käyttöjärjestelmän käytöstä sekä kuinka sen toimintaa voidaan muokata mielivaltaisesti. Kun Raspberry Pi saatiin jakamaan 5G yhteys sen LAN portin kautta, ei Tosibox:iin tarvinnut tehdä kuin joitakin asetus muutoksia, että se saatiin luomaan paikallis-Wi-Fi verkko 5GTN testiverkon 5G yhteyden avulla. Kokeilin yhdistää älypuhelimeni tähän paikallisverkkoon onnistuneesti ja pitäisi tämä onnistua vastaavasti kaivinkoneen laitteille tulevaisuudessa kenttätesteissä. Kirjoitus hetkellä kenttätestejä ei ole keretty tehdä, koska ne siirtyivät sairastapauksen vuoksi tulevaisuuteen ja työ halutaan saattaa kevään aikana loppuun.

Työn toteutuksen aikana kenttätestien suunnitelma muuttui sen verran, että ne tullaan toteuttamaan yhteistyössä SATEL nimisen yrityksen kanssa. SATEL:lilla on omia 5G modeemia, joita he tuovat testien toteutukseen mukaan, mutta samalla testataan myös tässä työssä toteutettu 5G yhteys Tosiboxille TCL modeemilla ja edelleen kaivinkoneelle.

Kenttätestauksia kerettiin suunnitella ja niiden ideana olisi luoda järjestely, joka mallintaa rakennustyömaa olosuhteita, jossa Tosibox:in ohjaus PC:kin on tietoliikenneverkkoon kytketty ja sijaitsisi työmaakopissa. Tämä työmaakoppi sijoitettaisiin paikkaan, josta on hyvä kuuluvuus 5GTN-testiverkkoon eli hyvän kuuluvuuden pisteeseen. Ohjaustietokoneeseen luotaisiin 5G yhteys kytkemällä siihen toinen Tosibox ja Tosibox:iin SATEL:in 5G reititin, joka olisi kytketty yliopiston 5GTN testiverkkoon. Kaivinkoneessa olisi oma Tosibox ja siihen kytkettäisiin SATEL:in 5G reitin vastaavasti kuin työmaakopissa ja testien välissä korvattaisiin SATEL:in reititin tässä työssä toteutetulla kytkennällä eli TCL modeemilla ja Raspberry Pi:llä. Näillä järjestelyillä toteutettaisiin testejä ja kaivinkoneen sijaintia vaihdeltaisiin eri sijainteihin riippuen kuuluvuudesta 5GTN verkkoon, jotta saataisiin testidataa hyvän, keskitason ja huonon kuuluvuuden vaikutuksista kaivinkoneen toimintaan.

Testauksissa oli suunnitelmana toteuttaa erilaisia testitapauksia sekä TCL:än että SATEL:in modeemeilla, jotka toisivat esille eri laitteiden ja Tosibox:in ominaisuuksien vaikutuksia mm. tiedonsiirtonopeuksiin, kuuluvuuteen ja viiveeseen. Aluksi toteutettaisiin testejä ilman VPN:ää, käyttäen VPN:ää ja avoimella VPN:llä. Kaivurin sijaintia vaihdettaisiin hyvän, keskitason ja huonon kuuluvuuden alueille. Testauksessa käytettäisiin myös Telian kaupallista 5G verkkoa, joihin modeemit yhdistettäisiin. Eri testitapauksissa suoritettaisiin kaivinkoneen etäohjausta, sekä autonomista toimintaa. Testeissä mitattaisiin tietoliikenteen viivettä, läpäisyä ja analysoitaisiin kuljettajan kokemusta.

Testit tullaan tekemään tämän työn valmistumisen jälkeen toistaiseksi tuntemattomana ajankohtana, mutta osa testituloksista on odotettavissa. Ideaalitulanteessa tietoliikenne olisi langatonta, äärettömän nopeaa, täysin toimintavarmaa ja nolla viiveistä. Todellisuudessa odotettavissa olevat tietoliikenneyhteydet ovat riittävät jo nykyisellä 4G-yhteydellä kaivinkoneen siirrettävälle datalle, mutta tarkemman tarkastelun alle testeissä odotan asettuvan toimintavarmuuden ja viiveiden. Toisaalta huonon kuuluvuuden alueilla myös tiedonsiirtonopeuksia tullaan tarkastelemaan ja analysoimaan kattavatko ne kaivinkoneelle

tarvittavan tiedonsiirtokapasiteetin. Uskon VPN:n olevan testeissä avain asemassa, koska on jo ennestään tiedossa, että Tosiboxin tiedonsiirtotekniikka tuo lisää viiveitä datan kulkuun ja näin verkkoyhteyden reagointinopeuksiin. Tämä tieto on oleellista, koska tietoturvalta suojautuminen on perusehto itseohjautuvissa työkoneissa ja teollisuudessa. Yhteyden toteuttaminen ilman VPN:ää asettaisi koneiden toiminnan tietoturvalle.

5 YHTEENVETO

5G:llä voidaan tulevaisuudessa toteuttaa tiedonsiirtosiirto ratkaisuja, jotka voivat mullistaa yhteiskuntaa. Työkoneiden autonomiseen toimintaan ja etäohjaukseen yhteyden on oltava toimintavarma, lähes viiveetön ja tietoturvallinen. Tämän työn tarkoituksena oli saada yliopiston tutkimusprojektin autonominen kaivinkone käyttämään 5G yhteyttä 5GTN testiverkon kautta ja testata integraation hyötyjä verrattuna ennen kaivinkoneessa käytössä olleeseen 4G yhteyteen. Teoriaosuudessa kerrottiin 5G:stä ja sen eroista 4G:hen sekä työssä käytettävästä 5GTN testiverkosta, laitteista ja kaivinkoneesta, josta edettiin suoraviivaisesti itse kytkennän toteutukseen. Kenttätoteutus tullaan tekemään työn kirjoitus hetkeä myöhemmin, mutta odotettavissa on, että tärkeään rooliin nousee toimintavarmuus ja viive.

6 LÄHDELUETTELO

- [1] Masanti A. (luettu 2021 3.3.) Digitalisaatio toi mittaamiseen tarkkuutta. URL: <https://www.rakennuslehti.fi/2018/12/digitalisaatio-toi-mittaamiseen-tarkkuutta/>
- [2] Uitto M., Hoppari M., Heikkilä T., Isto P., Anttonen A. & Mämmelä A. (2019). Remote Control Demonstrator Development in 5G Test Network. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8802029>
- [3] Andrews JG., Buzzi S., Choi W., Hanly SV., Lozano A., Soong ACK. & Zhang JC. (2014). What will 5G be? URL: <https://arxiv.org/pdf/1405.2957.pdf>
- [4] 5GTN nettisivut (luettu 1.3.2021). URL: <https://5gtm.fi/>
- [5] Vujović V. & Maksimović M. (2014). Raspberry pi as a wireless sensor node: Performances and constraints. URL: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir_Vujovic/publication/269291637_Raspberry_Pi_as_a_Wireless_Sensor_node_Performances_and_constraints/links/557953db08aeacff2002966b.pdf
- [6] Tosibox käyttöohje (luettu 31.1.2021). URL: https://www.tosibox.com/uploads/2020/01/Tosibox_User_Manual_v2.1.pdf
- [7] Tosibox nettisivut (luettu 31.1.2021). URL: <https://www.tosibox.com/fi/tuote/lukko-500/>
- [8] Ferguson P. & Huston G. (1998). What is a VPN? URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.7689&rep=rep1&type=pdf>
- [9] Tosibox nettisivut (luettu 16.2.2021). URL: <https://www.tosibox.com/video-how-to-set-up-secure-connection/>
- [10] STT Viestintäpalvelut nettisivut (luettu 3.3.2021). URL: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/itsenaisesti-tyoskenteleva-kaivukone-kehitetty-oulu-yliopistossa-avoin-sovelluslusta-jatkotutkimuksiin-ja-teollisuusyhteistyöhön?publisherId=57858920&releaseId=69868419>
- [11] Heikkilä, R., Makkonen, T., Niskanen, I., Immonen, M., Hiltunen, M., Kolli, T., & Tyni, P. (2019). Development of an Earthmoving Machinery Autonomous Excavator Development Platform. URL: <https://search.proquest.com/docview/2268537844?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>